Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. H.J. Knüttgen

# AKKLIMATISATION FÜR HITZEARBEIT DURCH AUFENTHALT IN KÜNSTLICHEM FEUCHTHEISSEM KLIMA OHNE ARBEITSBELASTUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Michael R. Clemens
aus Bremen
1977

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. H.J. Knüttgen

# AKKLIMATISATION FÜR HITZEARBEIT DURCH AUFENTHALT IN KÜNSTLICHEM FEUCHTHEISSEM KLIMA OHNE ARBEITSBELASTUNG

UNIV. BIBLIOTHEK MEDIZIN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Michael R. Clemens
aus Bremen
1977

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. med. H. J. Mallach
1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Höfler
2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. H. J. Knüttgen

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSANGABE


| | |
|---|---|
| Einleitung | Seite 1 |
| Methodik | Seite 2 |
| Ergebnisse | Seite 6 |
| Diskussion | Seite 9 |
| Zusammenfassung | Seite 12 |
| Schrifttum | Seite 13 |
| Tabellen | Seite 15 |
| Abbildungen | Seite 17 |
| Danksagung | Seite 21 |
| Lebenslauf | Seite 22 |

# EINLEITUNG

Akklimatisation verläuft um so rascher und ist um so besser, je höher die Belastung ist (Leithead & Lind 1964, Laaser 1968). Versuche, eine für Hitzearbeit ausreichende Akklimatisation allein durch Sitzen in heißem Klima zu erreichen, hatten meist kein eindeutiges Ergebnis (Bean & Eichna 1943, Eichna et al. 1945), so auch die Untersuchungen von Frankewitz (1971) und Hänssler (1972) in unserem Laboratorium bei 35°C und 74% r.F. bzw. 49°C und 20% r.F. Dagegen erreichten die Versuchspersonen von Fox et al. (1963) eine gute Akklimatisation durch das Verfahren der "kontrollierten Hyperthermie", wenn die Kerntemperatur an 12 Tagen mindestens 1 Stunde lang auf 37,9°C erhöht wurde. Die Schweißmenge erhöhte sich dabei von 412 auf 691 g/m$^2$h, und eine Testarbeit von 110 kcal/m$^2$h konnte mit höherer Schweißmenge, niedrigerer Kerntemperatur und Pulsfrequenz besser bewältigt werden als vor der Akklimatisation. Bei Versuchen in unserem Laboratorium war aufgefallen, daß bei Hitzeexpositionen im Sitzen die Schweißmenge beim Überschreiten der Toleranzgrenze stark anstieg. In Anlehnung an Wenzel (1968) wird als Toleranzgrenze diejenige Klimakombination angesehen, bei der zeitunabhängig konstante Niveaus von Kerntemperatur, Hauttemperatur und Pulsfrequenz eben noch gehalten werden können. Wenn die Zunahme der Schweißmenge der ausschlaggebende Akklimatisationsvorgang sein sollte, müßte auch im Sitzen eine Hitzeakklimatisation erreicht werden können, die für eine Hitzearbeit ausreicht, wenn man nur die Hitzebelastung hoch genug wählt.

## METHODIK

Der Versuchsplan ist in Tab. 1 zusammengestellt, kann aber auch teilweise der Abb. 1 entnommen werden.

Versuchsperson war ein gesunder, körperlich leistungsfähiger 25 - jähriger Mann von 179,5 cm Größe, 70,1 kg Gewicht und 1,8776 $m^2$ Körperoberfläche. Die Versuche fanden in einer Klimakammer (Meissner & Wurst, Stuttgart) von 230 cm Breite, 360 cm Länge und 200 cm Höhe in der Zeit vom 18.2. bis 4.4.1974 täglich außer sonntags statt. Einer 10 - tägigen Trainingsperiode (Tr 1 - 10) folgten 21 Akklimatisationstage (A 1 - 21) im Sitzen. Vor dem 1. und je nach dem 10. und 21. Akklimatisationstag wurden Hitzearbeitstests (T 1 - 3) durchgeführt. Die Versuche begannen um 8 Uhr. Die Versuchsperson war dabei mit Turnhose und Badesandalen bekleidet.

### Training

Die Versuchsperson trainierte auf einem Fahrradergometer in kühlem Klima zunächst 2 Tage bei 10 mkp/sec 3 Stunden täglich, dann 4 Stunden täglich 4 Tage bei 8 mkp/sec und 4 Tage bei 9 mkp/sec, bis am letzten Trainingstag die Rektaltemperatur bei 37,7°C und die Pulsfrequenz bei 120 - 125 Schlägen/min vom Ende der 1. Stunde bis zum Versuchsende konstant blieben.

### Hitzeakklimatisation

Nach Abschluß dieses Trainings hielt sich die Versuchsperson an 21 Tagen je 4 Stunden lang in der Klimakammer bei einer Trockentemperatur von 37°C auf, in einem mit Plastikschnur bespannten

Stuhl sitzend. Die Feuchttemperatur wurde von Tag zu Tag, bei 30°C beginnend, erhöht, bis am 5. Tag bei 35,5°C die Toleranzgrenze eindeutig überschritten wurde (anhaltender, langsamer Anstieg von Rektaltemperatur, Hauttemperatur und Pulsfrequenz mit einer deutlichen Erhöhung der Stundenschweißmenge). An Samstagen wurde nur die Trockentemperatur geregelt auf 37°C bei sich frei einstellender Luftfeuchtigkeit. Als Ausgleich für den am Ende jeder Stunde durch Wägung festgestellten Wasserverlust trank die Versuchsperson eine gleiche Menge von ungezuckertem, körperwarmem Tee (Schwarztee - Brombeertee 1 : 1).

## Hitzearbeitstests

Nach einer Stunde Ruhe im Sitzen arbeitete die Versuchsperson 4 x 60 min auf dem Fahrradergometer bei 9 mkp/sec. Die zunächst gewählte Klimakombination von 37/27°C (T 0) führte nicht zu einem anhaltenden Anstieg der Rektaltemperatur und erschien somit als zu leicht. Deshalb wurde 2 Tage später der Arbeitstest bei 37/28°C (T 1) wiederholt. Dabei kam es zu einem kontinuierlichen Anstieg der Rektaltemperatur. Der Versuch mußte nach 3 x 60 min Arbeit wegen Erschöpfung der Versuchsperson abgebrochen werden. Die gleiche Klimakombination wurde auch bei den Testversuchen T 2 und T 3 eigestellt. (37/28°C). Auch während der Arbeitstestversuche trank die Versuchsperson die dem Wasserverlust der vorausgegangenen Stunde entsprechende Menge Tee, mindestens aber 750 g/Std.

## Messungen

Die Temperaturen in der Klimakammer wurden sowohl mit einem trockenen als auch einem befeuchteten und ventilierten Widerstandsthermometer gemessen und über einen außerhalb der Kammer befindlichen Zweifarbenschreiber registriert. Zu Beginn

jedes Versuchstages und am Ende jeder Stunde wurde die Versuchsperson unbekleidet auf einer Toledowaage auf 20 g genau gewogen. Zu den gleichen Zeiten wurde die Rektaltemperatur mit einem Quecksilberthermometer ermittelt. Die Pausen zwischen den einzelnen Arbeits- bzw. Ruheperioden dauerten ca. 4 - 7 min. Alle 10 min wurden die Hauttemperatur an Stirn, Brust, Bauch und Unterarminnenseite mit einem Tastthermometer (ELLAB, Kopenhagen) an markierten Stellen, die Hauttemperaturen an Oberschenkel und Unterschenkel mit fixierten Widerstandsmeßsonden (YSI) gemessen. Die durchschnittliche Hauttemperatur wurde durch einfache Mittelung berechnet. Die Pulszahl für 10-min-Perioden wurde mit dem fotoelektrischen Pulszähler nach E. A. Müller gemessen. Der Energieumsatz der Versuchsperson wurde während der Arbeit an den Trainingstagen Tr 9 und 10 bei 17°C (St 1 und 2) und nach dem letzten Arbeitstestversuch T 3 bei 37/28°C (St 3) mit der Respirationsgasuhr des MPI für Arbeitsphysiologie und Gasanalyse bestimmt. Diese Ergebnisse sind in Tab. 2 festgehalten.

## Berechnung der verdunsteten Schweißmenge V

Die pro Stunde verdunstete Schweißmenge ergibt sich aus

$$V = (M - A) \pm Q_s \pm Q_c \pm dH \text{ (kcal/h)}.$$

Der Strahlungswärmestrom $Q_s$ wurde nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz berechnet. Als effektive Oberfläche wurden 80% der geometrischen Körperoberfläche für die auf dem Fahrradergometer sitzende Versuchsperson angenommen. Die Wandtemperatur konnte der Lufttemperatur gleichgesetzt werden.

Der Nettostoffwechsel (M - A) wurde gemessen (Tab. 2).

Die Wärmespeicherung dH ergab sich aus dem Anstieg der Rektaltemperatur, dem Gewicht und der spezifischen Wärme von 0,83 kcal/kg °C.

Für den Konvektionswärmestrom gilt

$$Q_c = F \times k_c \times dt \text{ (kcal/h)}.$$

Die Konvektionszahl $k_c$ beträgt nach Nelson et al. (1947) und Clifford et al. (1959)

$$k_c = 0{,}23 \times \text{Wind}^{0{,}62} \text{ (kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C)}.$$

Sie läßt sich aber auch aus der Wärmebilanz abschätzen: Zwischen den Wärmeübergangszahlen für Konvektion $k_c$ und Verdunstung $k_e$ besteht die Beziehung:

$$k_e' \approx 2\, k_c' \text{ (Brebner et al. 1958, Ackeren 1972)}.$$

Unter der hier zutreffenden Bedingung maximaler Verdunstung ($V/V_{max} = 1{,}0$) gilt

$$V = (M - A) \pm Q_s \pm dH \pm F \times k_c' \times dt = F \times 2k_c' \times de = V_{max} \text{ (kcal/h/.}$$

Abkürzungen

| | |
|---|---|
| V | verdunstete Schweißmenge in kcal/h |
| (M–A) | Nettostoffwechsel (Stoffwechsel nach Abzug der verrichteten Arbeit in kcal/h |
| $Q_s$ | Strahlungswärmestrom in kcal/h |
| $Q_c$ | Konvektionswärmestrom in kcal/h |
| F | Körperoberfläche in $m^2$ (Dubois et al. 1915) |
| $k_c$ | Konvektionszahl in kcal/$m^2$ h $^\circ$C |
| $k_e$ | Verdunstungszahl in kcal/$m^2$ h Torr |
| dt | Hauttemperatur minus Lufttemperatur in $^\circ$C ($t_H - t_L$) |
| de | Differenz des Wasserdampfpartialdrucks zwischen Haut und der Umgebung in Torr, unter der Annahme, daß auf der Haut Sättigungsdampfdruck herrscht |
| $V_{max}$ | Verdunstungskapazität in kcal/h |

## ERGEBNISSE

### Akklimatisationstage

Die Schweißmenge schwankte von A 1 bis A 4 um ca. 800 g/4 Std, betrug bei A 6 ca. 1900 g/4 Std und stieg bis A 21 auf ca. 3000 g/4 Std. Das Maximum der einzelnen Stundenschweißmengen blieb bis zum Versuchsende (A 21) in der 2. Stunde, jedoch nahmen mit jeder Hitzeexposition die Schweißmengen der 3. und 4. Stunde zu, die bei A 19 gleich hoch und ab da größer als die der 1. Stunde waren (Abb. 1 und 2).

Die Pulsfrequenz war meistens am Ende der 4. Stunde am höchsten. Es kam nie zu einer Einstellung auf ein konstantes Niveau. Keine signifikante Veränderung bringt der Vergleich der Werte, die jeweils am Ende der 4. Stunde erreicht wurden. (Abb. 2).

Die Rektal- und die Hauttemperaturen stiegen ab A 5 den Versuchsbedingungen entsprechend während aller 4 Stunden der einzelnen Hitzeexpositionen an. Vom Ende der 1. Stunde bis zum Ende der 4. Stunde stieg die Rektaltemperatur immer zwischen 0,5 und 1,0°C, die Hauttemperatur zwischen 0,8 und 1,1°C. Eine signifikante Veränderung bringt der Vergleich der Rektal- und Hauttemperaturen, die jeweils am Ende der 4. Stunde erreicht wurden. Die Rektaltemperatur fiel von 38,8°C (A 6) auf 38,2°C (A 21) und die Hauttemperatur von 37,9°C (A 6) auf 37,2°C (A 21) (Abb. 2).

### Arbeitstesttage

Die Schweißmenge stieg von 1845 g/3 Std (T 1) auf 2638 g/3 Std (T 3). Die Maxima der einzelnen Stundenschweißmengen lagen bei T 1 und T 2 in der 1. Arbeitsstunde, bei T 3 jedoch in der 2. Arbeitsstunde. Bereits bei T 2 zeichnete sich durch den Anstieg

der Schweißmenge der 3. Stunde gegenüber derjenigen der 2. Stunde diese Tendenz zur Verminderung der "Schweißdrüsenermüdung" ab. Da die Versuchsperson T 1 vorzeitig abbrach, werden in Abb. 3 jeweils die Werte der Schweißmenge in 3 Std verglichen.

Die Pulsfrequenz bei T 1 blieb ziemlich konstant bei 140 Schlägen/min, stieg jedoch in den letzten 30 min der 3. Arbeitsstunde auf ca. 155 Schläge/min; hier brach die Versuchsperson den Versuch ab. Bei T 2 bewegte sich die Pulsfrequenz zwischen 125 und 135 Schlägen/min, bei T 3 zwischen 115 und 125 Schlägen/min, also Werten, wie sie am Ende des Kältetrainings erreicht wurden. Eine deutliche Verringerung zeigt sich somit beim Vergleich der Werte der 3. Arbeitsstunden der 3 Arbeitstestversuche.

Die Rektaltemperatur stieg in der 1. Arbeitsstunde bei T 1 von 37,3°C auf 38,1°C, blieb so bis zum Ende der 2. Arbeitsstunde und stieg dann weiter bis zum Ende der 3. Arbeitsstunde auf 38,3°C. Bei T 2 stieg die Rektaltemperatur in der 1. Arbeitsstunde von 37,2°C auf 37,9°C und schwankte um 0,1°C bis zum Ende der 4. Arbeitsstunde. Bei T 3 stieg die Rektaltemperatur in der 1. Arbeitsstunde von 37,0°C auf 37,7°C und wurde bis zum Ende der 4. Arbeitsstunde konstant gehalten. Es stellte sich also ein Gleichgewicht auf einem Niveau von 37,7°C ein. Einen deutlichen Abfall von 38,3°C auf 37,7°C, also den gleichen Wert wie am Ende des Kältetrainings, findet man beim Vergleich der Messwerte jeweils vom Ende der 3. Arbeitsstunden der 3 Arbeitstestversuche.

Die Hauttemperatur war bei allen Arbeitstestversuchen während der 1. Stunde um ca. 0,5°C höher als während der 1. Arbeitsstunde. Bei T 1 blieb die Hautemperatur während der 1. und 2. Arbeitsstunde bei ca. 35,5°C stehen, stieg dann in der 3. Arbeitsstunde kontinuierlich auf 36,3°C. Bei T 2 blieb die Hauttemperatur

bis zur 1. Hälfte der 3. Arbeitsstunde bei 34,9°C stehen, stieg dann auf 35,4°C und pendelte bis zum Ende der 4. Arbeitsstunde um ± 0,2°C. Bei T 3 fiel die Hauttemperatur am Anfang der 1. Arbeitsstunde von 35,1°C auf 34,4°C am Anfang der 2. Arbeitsstunde, stieg dann langsam bis zur 1. Hälfte der 4. Arbeitsstunde auf 35,2°C und blieb bis zum Ende konstant. Einen deutlichen Abfall von 36,1°C auf 35,1°C findet man beim Vergleich der Messwerte jeweils vom Ende der 3. Arbeitsstunden der 3 Arbeitstestversuche.

## DISKUSSION

Ziel der vorliegenden Untersuchung war festzustellen, ob- und ggf. unter welchen Bedingungen- wiederholte Hitzeexposition ohne Arbeitsbelastung zu einer Toleranz für eine Hitzearbeit führen kann, die anfänglich für eine körperlich trainierte, jedoch nicht hitzeakklimatisierte Versuchsperson intolerabel war.

Wie schon früher gezeigt wurde (Fox et al. 1963), ist die Zunahme der Schweißproduktion ein wichtiger Indikator für die Hitzeakklimatisation. Während der Akklimatisationstage A 1 bis A 6 wurden die Klimabedingungen so eingestellt, daß die Toleranzgrenze mit Sicherheit überschritten war. Dies zeigte sich durch den kontinuierlichen Anstieg von Rektal- und Hauttemperatur verbunden mit einer starken "Schweißdrüsenantwort" während der einzelnen Akklimatisationstage.

Die Werte der Akklimatisationstage zeigen, daß eine Anpassung an das bis zum Versuchsende intolerable Klima erfolgte; nicht nur die Schweißmenge in 4 Stunden erhöhte sich und die "Schweißdrüsenermüdung" (Johnson 1944, Robinson & Gerking 1947, Ladell 1951) verringerte sich in dem Sinn, daß über längere Zeit höhere Stundenschweißmengen erreicht werden konnten, sondern die Rektal- und Hauttemperaturen zeigten einen signifikanten Abfall bei Vergleich der Meßergebnisse jeweils vom Ende der 4. Stunden der Akklimatisationstage. Es dürfte sich aber lediglich um eine "relative Akklimatisation" gehandelt haben, da die Anpassung vermutlich nicht zu einer vollständigen Toleranz geführt hätte. Zur Klärung dieser Frage müßte man einerseits noch Versuche machen, bei denen die einzelnen Hitzeexpositionen länger (z. B. 8 Std) sind, um festzustellen, ob es doch noch zu einer Einstellung der Kerntemperatur auf ein höheres Niveau kommt; andererseits müßte man in einem Langzeitversuch feststellen, ob die "relative Akklimatisation" doch zu einer Toleranz des

gewählten Klimas führt.

Die Werte der Arbeitstesttage zeigen, daß durch die Hitzeexpositionen ohne Arbeitsbelastung eine gute Toleranz für die Arbeitstestbedingungen, die anfänglich nicht tolerabel waren, erreicht werden konnte. Im einzelnen zeigt sich dies durch eine Steigerung der Schweißmenge in 3 Stunden um ca. 800 g, einer Verringerung der Pulsfrequenz um ca. 30 Schläge/min, der Rektaltemperatur um 0,6°C, der Hauttemperatur um 1,0°C beim Vergleich der Meßwerte jeweils vom Ende der 3. Arbeitsstunde der 3 Arbeitstestversuche und an der konstant gehaltenen Rektaltemperatur bei 37,7°C und der Hauttemperatur bei 35,1°C beim 3. Arbeitstestversuch (Abb. 3).

Entscheidend für das Erreichen einer Hitzetoleranz durch Hitzeexpositionen ohne Arbeitsbelastung scheint die Wahl eines Klimas zu sein, das ein ausreichender Stimulus zur Steigerung der Schweißproduktion ist. Dies ist stets der Fall, wenn man die Toleranzgrenze überschreitet.

Vergleicht man die vorliegenden Ergebnisse sowohl mit denen der Versuche von Frankewitz (1971) und Hänssler (1972), bei denen es weder zu einer Steigerung der Schweißsekretion in Ruhe noch zu einer Verbesserung der Hitzearbeitstoleranz gekommen war, als auch mit denen von Fox et al. (1963), bei denen durch "kontrollierte Hyperthermie" eine Verbesserung der Hitzearbeitstoleranz erzielt werden konnte, läßt sich sagen, daß der entscheidende Vorgang die Schweißproduktion sein dürfte. Diese Toleranzverbesserung läßt sich demnach entweder durch mehrfach wiederholte Steigerungen der Kerntemperatur über einen kritischen Wert, wie bei dem Verfahren der "kontrollierten Hyperthermie", oder mit wesentlich einfacheren Mitteln, durch wiederholte Hitzeaufenthalte ohne Arbeitsbelastung in einem Klima knapp oberhalb der Toleranzgrenze erreichen.

Trägt man die Verdunstungswärmeabgabe V bzw. die produzierte Schweißmenge S gegen die zugehörige Rektaltemperatur auf, ergeben die Kurven der 3 Arbeitstestversuche, von T 1 nach T 3 hin, eine Versteilerung bis zu einer Geraden und eine Linksverschiebung (Abb. 4). Zu einer erhöhten Schweißmenge ist also keine höhere Rektaltemperatur notwendig, auch beginnt die stärkere Schweißproduktion schon bei niedrigerer Rektaltemperatur. Dies dürfte das Resultat eines "Schweißdrüsentrainings" sein. Auch Erfahrungen anderer Untersucher sprechen eher für eine stärkere Reaktion des peripheren Erfolgsorgans (Schweißdrüsen) auf den gleichen neuralen Stimulus als für eine Änderung der "zentralnervösen Schwelle" (Hensel 1973).

## ZUSAMMENFASSUNG

Ein 25 Jahre alter, gesunder und körperlich leistungsfähiger Mann, der nicht hitzeakklimatisiert war, trainierte an 10 Tagen je 4 Stunden auf einem Fahrradergometer und wurde dann an 17 Tagen je 4 Stunden ohne Arbeitsbelastung einem Klima von 37/35,5°C ausgesetzt. Vor der 1. und je nach der 10. und letzten Hitzeexposition im Sitzen wurden 3- bzw. 4-stündige Arbeitstestversuche mit anfänglich nicht tolerablen Bedingungen (9 mkp/sec bei 37/28°C) durchgeführt. Vom 1. bis zum 3. Arbeitstestversuch stieg die Schweißmenge in 3 Stunden von 1860 auf 2640 g und sanken die Rektaltemperatur um 1,6°C, die durchschnittliche Hauttemperatur um 1,0°C und die Pulsfrequenz um ca. 30 Schläge/min (Werte am Ende der 3. Arbeitsstunde). Beim 3. Arbeitstestversuch wurde die Hitzearbeit über die gesamte Versuchszeit toleriert (gleichbleibende Rektaltemperatur, Hauttemperatur und Pulsfrequenz). Während der 17 Hitzeexpositionen ohne Arbeitsbelastung stieg die Schweißmenge in 4 Std von ca. 1400 auf ca. 3100 g und sanken die Rektaltemperatur um 0,5°C und die durchschnittliche Hauttemperatur um 0,6°C (Werte am Ende der 4. Stunde). Die Pulsfrequenz zeigte keine signifikante Veränderung. Das Klima für die Hitzeexpositionen im Sitzen wurde bis zum Versuchsende nicht toleriert (ständiger Anstieg von Rektaltemperatur, Hauttemperatur und Pulsfrequenz während der einzelnen Expositionen). Es wird diskutiert, daß Hitzeaufenthalte ohne Arbeitsbelastung in nicht tolerablen Klimabedingungen zu einer Hitzetoleranz für anfänglich nicht tolerable Hitzearbeit führen können. Ausschlaggebend für die Hitzeexpositionen ohne Arbeitsbelastung scheint ein Klima zu sein, das so weit über der Toleranzgrenze liegt, daß es zu einer deutlich erhöhten Körpertemperatur und Schweißproduktion kommt. Dieses so zu erreichende "Schweißdrüsentraining" dürfte der maßgebende Vorgang sein.

SCHRIFTTUM

Ackeren, G: Beziehung zwischen regionaler Verteilung der Schweißproduktion und Abweichung von der "Predicted 4-Hrs Sweat Rate" P4SR.
Int. Z. angew. Physiol. 31, 11 - 40 (1972).

Bean, W. B. and L. W. Eichna: Performance in relation to environmental temperature: reactions of normal young men to simulated environment.
Fed. Proc. 2, 144 - 164 (1943).

Brebner, D. F., D. Mc. Kerslake, J. L. Waddell: The relation between the coefficients for heat exchange by convection and by evaporation in man.
J. Physiol. (Lond.) 141, 164 - 168 (1958).

Clifford, J., D. Mc. Kerslake, J. L. Waddell: The effect of wind speed on maximum evaporative capacity in man.
J. Physiol. 147, 253 - 259 (1959).

Dubois, D., E. F. Dubois: The measurement of the surface of man.
Arch. intern. Med. 15, 868 - 881 (1915).

Eichna, L. W., W. B. Bean, W. F. Ashe, N. Nelson: Performance in relation to environmental temperature.
Bull. Johns Hopk. Hosp. 76, 25 - 58 (1945).

Frankewitz, A.: Dissertation Tübingen (1971).

Hänssler, R.: Dissertation Tübingen (1972).

Hensel, H.: Neural process in thermoregulation.
Physiol. Rev. 53, 948 - 1017 (1973).

Johnson, R. E., G. C. Pitts, F. C. Consolazio: Factors influencing chloride concentration in human sweat.
Amer. J. Physiol. 141, 575 - 589 (1944).

Laaser, U.: Physiologische Reaktionen während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima.
Int. Z. angew. Physiol. 25, 279 - 302 (1968).

Ladell, W. S. S.: Assessment of group acclimatization to heat and humidity.
J. Physiol. 115, 296 - 312 (1951).

Leithead, C. S., A. R. Lind: Heat stress and heat disorders.
London: Cassel (1964).

Nelson, N., L. W. Eichna, S. M. Horvath, W. B. Shelley, T. F. Hatch: Thermal exchanges of man at high temperatures.
Amer. J. Physiol. 151, 626 - 652 (1947).

Robinson, S., S. D. Gerking: Thermal balance of men working in severe heat.
Amer. J. Physiol. 149, 476 - 488 (1947).

Wenzel, H. G.: Über die Bedeutung von Herzfrequenz, Körpertemperatur und Schweißabgabe des Menschen bei Hitzearbeit als Kriterien zur Beurteilung der Belastungshöhe.
Arbeitmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene 3, 76 - 80 (1968).

Tabelle 1

| Datum | Bezeichnung | Arbeitsbelastung in mkp/sec | Dauer in Std. Ruhe | Arbeit | Klima (trocken/feucht) in °C | r.F. in % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 18.2. | Tr 1 | 10 | - | 3 | 19/14 | |
| 19.2. | Tr 2 | 10 | - | 3 | 18/13 | |
| 20.2. | Tr 3 | 8 | - | 4 | 18/13 | |
| 21.2. | Tr 4 | 8 | - | 4 | 18/12 | |
| 22.2. | Tr 5 | 8 | - | 4 | 17/12 | |
| 23.2. | - | - | - | - | - | - |
| 24.2. | - | - | - | - | - | - |
| 25.2. | Tr 6 | 8 | - | 4 | 17/11 | |
| 26.2. | Tr 7 | 9 | - | 4 | 17/11 | |
| 27.2. | Tr 8 | 9 | - | 4 | 17/11 | |
| 28.2. | Tr 9 +St 1 | 9 | - | 4 | 17/11 | |
| 1.3. | Tr 10+St 2 | 9 | - | 4 | 17/11 | |
| 2.3. | - | - | - | - | - | - |
| 3.3. | - | - | - | - | - | - |
| 4.3. | T 0 | 9 | 1 | 4 | 37/27 | |
| 5.3. | A 0 | - | 3 | - | 37/27 | |
| 6.3. | T 1 | 9 | 1 | 3 | 37/28 | 52 |
| 7.3. | A 1 | - | 4 | - | 37/30 | 62 |
| 8.3. | A 2 | - | 4 | - | 37/33 | 75 |
| 9.3. | A 3 | - | 4 | - | 37/34 | 81 |
| 10.3. | - | - | - | - | - | - |
| 11.3. | A 4 | - | 4 | - | 37/35 | 87 |
| 12.3. | A 5 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 13.3. | A 6 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 14.3. | A 7 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 15.3. | A 8 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 16.3. | A 9 | - | 4 | - | 37 | |
| 17.3. | - | - | - | - | - | - |
| 18.3. | A 10 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 19.3. | T 2 | 9 | 1 | 4 | 37/28 | 52 |
| 20.3. | A 11 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 21.3. | A 12 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 22.3. | A 13 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 23.3. | A 14 | - | 4 | - | 37 | |
| 24.3. | - | - | - | - | - | - |
| 25.3. | A 15 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 26.3. | A 16 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 27.3. | A 17 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 28.3. | A 18 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 29.3. | A 19 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 30.3. | A 20 | - | 4 | - | 37 | |
| 31.3. | - | - | - | - | - | - |
| 1.4. | A 21 | - | 4 | - | 37/35,5 | 88 |
| 2.4. | T 3 | 9 | 1 | 4 | 37/28 | 52 |
| 3.4. | - | - | - | - | - | - |
| 4.4. | St 3 | 9 | 1 | 4 | 37/28 | 52 |

Abk.: Tr Trainingstage
T Arbeitstesttage
A Akklimatisationstage
St Tage, an denen der Energieumsatz gemessen wurde

Tabelle 2

| | | |
|---|---|---|
| St 1 | 305,7 kcal/h | in der 2. Stunde |
| St 2 | 295,9 kcal/h | in der 2. Stunde |
| St 3 | 307,1 kcal/h | in der 1. Stunde |
| St 3 | 290,4 kcal/h | in der 2. Stunde |
| St 3 | 292,7 kcal/h | in der 3. Stunde |
| St 3 | 314,0 kcal/h | in der 4. Stunde |
| (M-A) | 301,0 $\pm$ 9,0 kcal/h | |

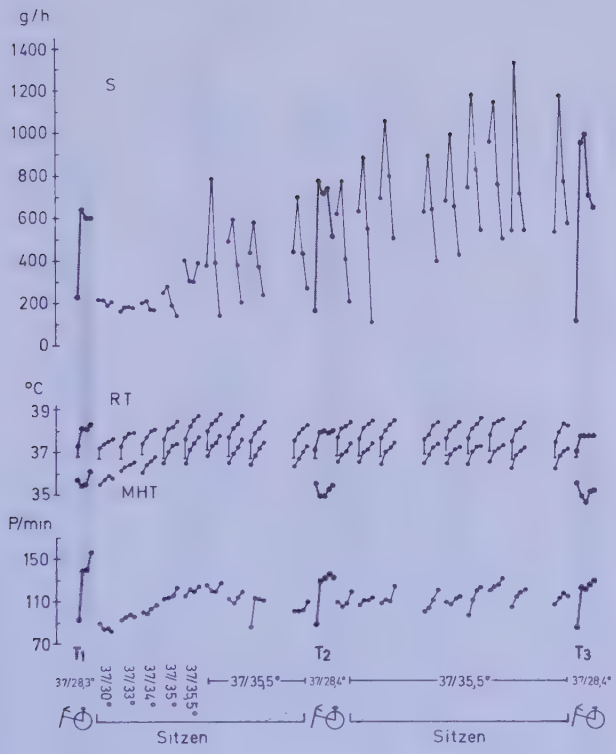


Abbildung 1: Meßwerte der Akklimatisations- und Arbeitstesttage
Stundenschweißmenge, Rektaltemperatur, durchschnittliche Hauttemperatur, Pulsfrequenz, Klima

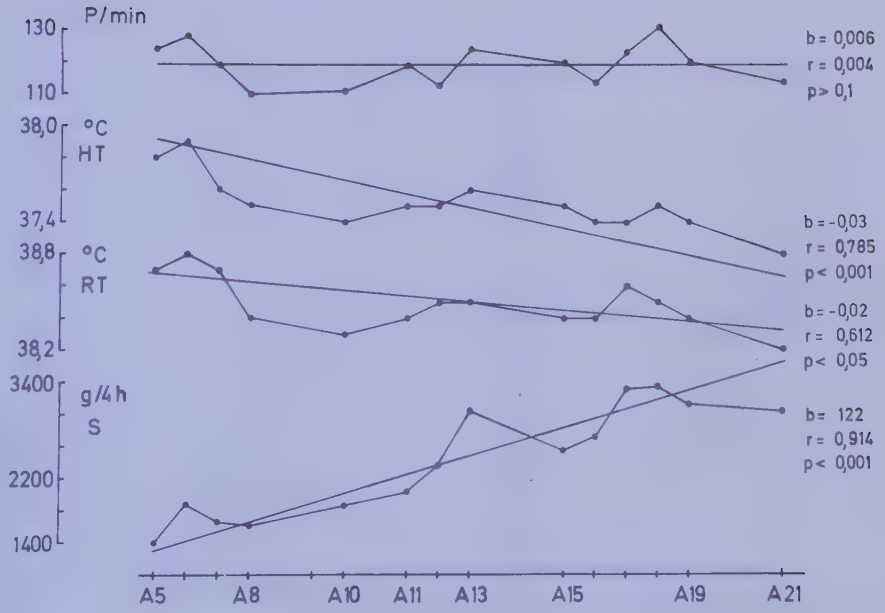


Abbildung 2: Akklimatisationstage
Schweißmenge/4 Std, Rektaltemperatur, Hauttemperatur,
Pulsfrequenz jeweils am Ende der 4. Stunde

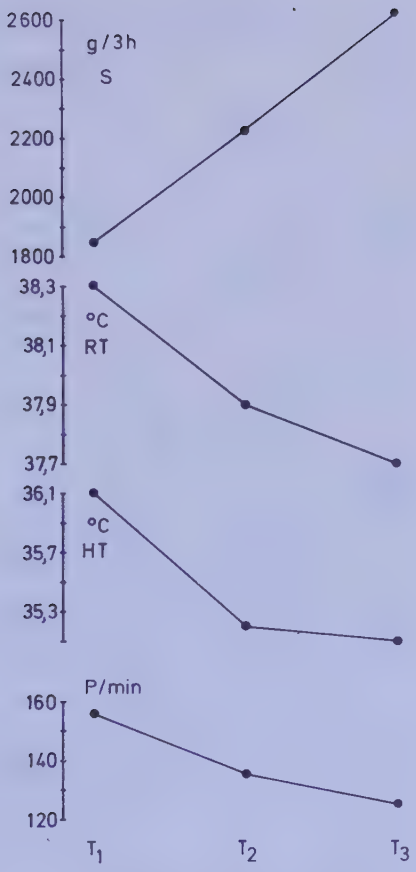


Abbildung 3: Arbeitstesttage
Schweißmenge/3 Std, Rektaltemperatur, Hauttemperatur, Pulsfrequenz jeweils am Ende der 3. Arbeitsstunde

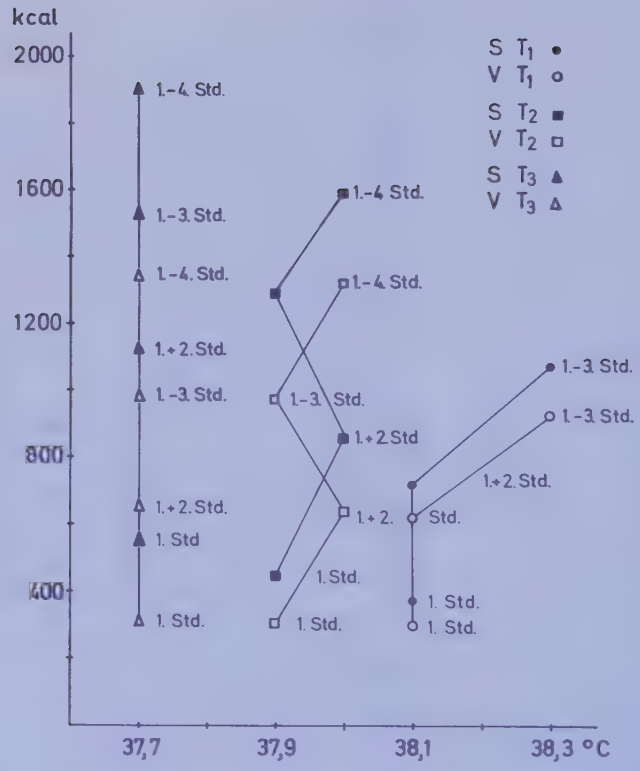


Abbildung 4: Arbeitstesttage
Verdunstungswärmeabgabe V und produzierte Schweißmenge S in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur

Herrn Prof. Höfler danke ich für die vielfältige Hilfe bei der Anfertigung der Dissertation und Frl. Irmtraud Hermann für die gute technische Assistenz.

LEBENSLAUF

Am 7. Dezember 1948 wurde ich, Michael Roland Clemens, als Sohn des Heinz Clemens und der Ruth Elisabeth Clemens in Bremen geboren.

Von 1955 bis 1959 besuchte ich Grundschulen in Bremen, Hamburg und Stuttgart. Auf das Gymnasium Stuttgart-Zuffenhausen ging ich von 1959 bis 1966, dann auf das Wirtschaftsgymnasium Stuttgart-Ost, wo ich 1968 die Reifeprüfung ablegte.

Nach dem Wehrdienst und einer Ausbildung zum Industrie-Kaufmann begann ich im Wintersemester 1971/72 mit dem Studium der Medizin an der Universität Stuttgart-Hohenheim. Im Sommer 1972 legte ich dort die Naturwissenschaftliche Vorprüfung ab. Nach dem Wechsel an die Universität Tübingen machte ich dort die Ärztliche Vorprüfung im Sommer 1973, den 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung im Sommer 1974 und den 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (ADÄ) im Sommer 1976. Den 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung bestand ich nach vollendetem praktischen Jahr am 12. Oktober 1977.

City Schnelldruck, Marcusstraße 10, 8700 Würzburg